

Gemeinsame Abituraufgabenpools der Länder

Beispielaufgaben

Aufgabe für das Fach Biologie

Kurzbeschreibung

Aufgabentitel	C₄- und CAM-Pflanzen
Anforderungsniveau	erhöht
Inhaltsbereiche	♦ Leben und Energie ♦ Grundlegende Zusammenhänge bei Stoffwechselwegen ♦ Zusammenhang von aufbauendem und abbauendem Stoffwechsel ♦ Aufbauender Stoffwechsel ♦ Funktionelle Anpassungen: Blattaufbau, C₄-Pflanzen
Materialien	♦ M 1 Stoffaustausch bei Dickblattgewächsen ♦ M 2 Säuerlich oder süß? ♦ M 3 Anpassung an Trockenheit: Stoffwechsel bei Dickblattgewächsen ♦ M 4 Geldbaum ♦ M 5 Untersuchungsmaterialien
Quellenangaben	♦ M 1, Abb. 1: In Anlehnung an Nobel, P. S. (2001). Ecophysiology of <i>Opuntia Ficus-Indica</i>. <i>FAO Plant Production and Protection Paper</i>, 169, S. 13-20. Verfügbar unter: http://www.fao.org/3/Y2808E/y2808e06.htm (Zugriff am 03.06.2021) ♦ M 2: Heyne, B. (1816). XVII. On the Deoxidation of the Leaves of <i>Cotyledon calycina</i>; in a Letter to A. B. Lambert, Esq., Vice-President of the Linnean Society. <i>Transactions of the Linnean Society of London</i>, 11, S. 213-215. doi: 10.1111/j.1096-3642.1813.tb00051.x. ♦ M 3, Abb. 2: In Anlehnung an Raven, P. H., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (2006). <i>Biologie der Pflanzen</i>. 4. Auflage. Berlin & New York: Walter de Gruyter. ♦ M4, Abb. 3: Kyla Henry (2019). Unsplash. Verfügbar unter: https://unsplash.com/photos/dNs4zYXq33o (Zugriff am 03.06.2021) ♦ Alle weiteren Materialien und Abbildungen wurden im Auftrag des IQB erstellt.
fachpraktischer Anteil	ja ☒ nein ☐ Zeitzuschlag: 30 Minuten

Hinweise

- ◆ Hinweise zur Vorbereitung und Durchführung des Experiments
- ◆ Beobachtungsbogen
- ◆ Ersatzmesswerte

1 Aufgabe

C₄- und CAM-Pflanzen

In dieser Aufgabe werden Anpassungen von grünen Pflanzen hinsichtlich ihrer Kohlenstoff-Fixierung untersucht, auch anhand eines Experiments.

	BE
1 Beschreiben Sie die in M 1 abgebildeten Befunde.	8
2 Erklären Sie die in M 2 aufgeführte Geschmackswahrnehmung von sauer zu süß unter Berücksichtigung von M 1 und M 3.	6
3 Vergleichen Sie die Kohlenstoff-Fixierung der CAM-Pflanzen (M 3) mit der in C ₄ -Pflanzen hinsichtlich struktureller und funktioneller Aspekte.	10
4 a Stellen Sie eine Hypothese zur stoffwechselphysiologischen Anpassung der Blätter des Geldbaums (M 4, M 3) an die Wasserverfügbarkeit im Lebensraum auf.	4
4 b Untersuchen Sie die Hypothese mithilfe der vorliegenden Materialien (M 5) und fertigen Sie ein Protokoll an. <i>Sollte Ihnen die Untersuchung nicht gelingen, so können Sie bei der Lehrkraft Ersatzmesswerte anfordern. Den nicht erbrachten Leistungen entsprechend werden zwei Bewertungseinheiten nicht erteilt.</i>	12

2 Material

Material 1

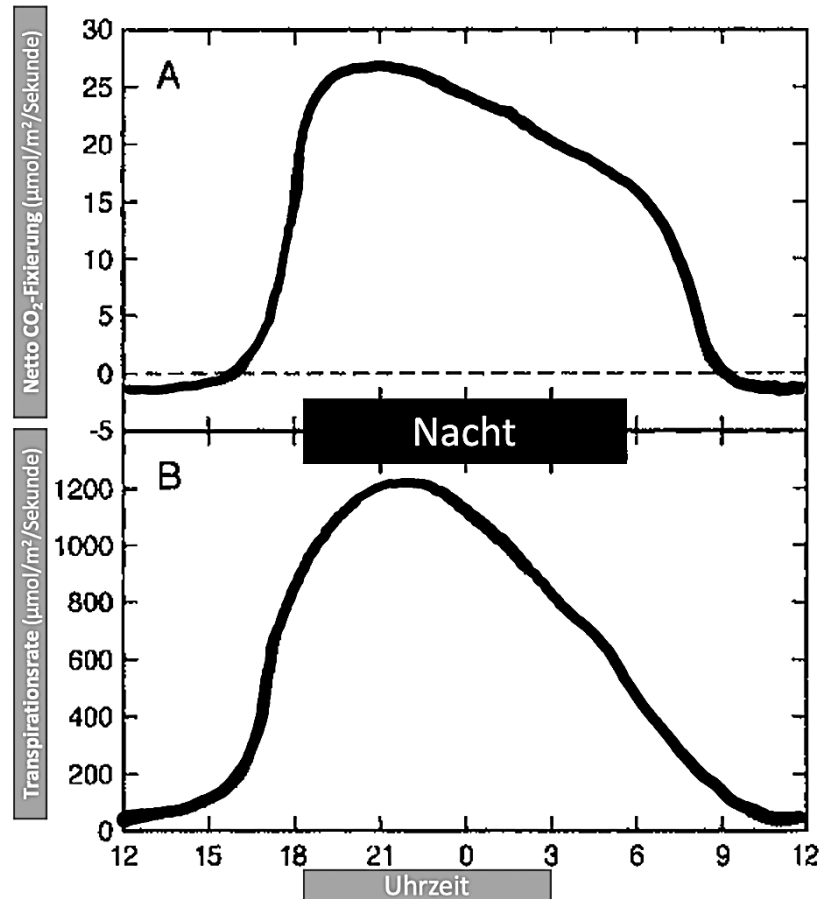
Stoffaustausch bei Dickblattgewächsen

Kakteen, Ananas, Brutblatt und andere Dickblattgewächse kommen an trockenen und heißen Standorten vor (vgl. M 3).

Forscherteams interessierten sich für die Anpassungen der Fotosynthese an solche Lebensräume. Sie haben bei *Opuntia ficus* – einer Kakteenart – den Stoffaustausch durch die Stomata der Laubblätter ermittelt.

Die Ergebnisse sind in Abb. 1 gezeigt.

Abb. 1: Stoffaustausch bei *Opuntia ficus*, IQB, in Anlehnung an Nobel, 2001.



Material 2

Säuerlich oder süß?

Der Dresdener Forscher Benjamin Heyne fand 1813 heraus, dass der Geschmack der Blätter des Brutblattes (*Cotyledon calycina*) im Tagesverlauf veränderlich ist. In einem Brief schrieb er, dass die sehr dicken, fleischigen Blätter von *Cotyledon calycina* am Morgen so sauer wie Sauerampfer sind, wenn nicht sogar saurer. Im Verlauf des Tages würden sie hingegen ihren Säuregehalt verlieren und gegen Nachmittag, so weitere Beobachtungen, leicht süßlich schmecken.

Quelle: IQB, in Anlehnung an Heyne, 1816.

Material 3

Angepasstheit an Trockenheit: Stoffwechsel bei Dickblattgewächsen

Verdursten oder verhungern: Für grüne Pflanzen bergen trockene und heiße Lebensräume kontinuierlich die Gefahr des erhöhten Wasserverlustes. Durch geschlossene Spaltöffnungen kann Wasserverlust zwar reduziert werden, allerdings unterbleibt dann die notwendige CO_2 -Aufnahme.

Pflanzen aus der Familie der Dickblattgewächse (Crassulaceae) zeigen bezüglich des Gas- und Wasseraustausches spezifische Angepasstheiten. Sie besitzen in der Regel dicke fleischige Blätter. Deren Gewebe besteht neben den oberen und unteren Epidermiszellen v. a. aus sogenannten Mesophyllzellen. Diese können zum einen Wasser effektiv speichern. Überdies verfügen sie über eine physiologische Angepasstheit hinsichtlich der Fixierung und Verwertung von Kohlenstoffdioxid (vgl. Abb. 2). Dieser wird als Crassulaceensäurestoffwechsel (kurz CAM von *Crassulacean Acid Metabolism*) bezeichnet. Entsprechend nennt man Pflanzenarten wie das Brutblatt (*Cotyledon calycina*) CAM-Pflanzen.

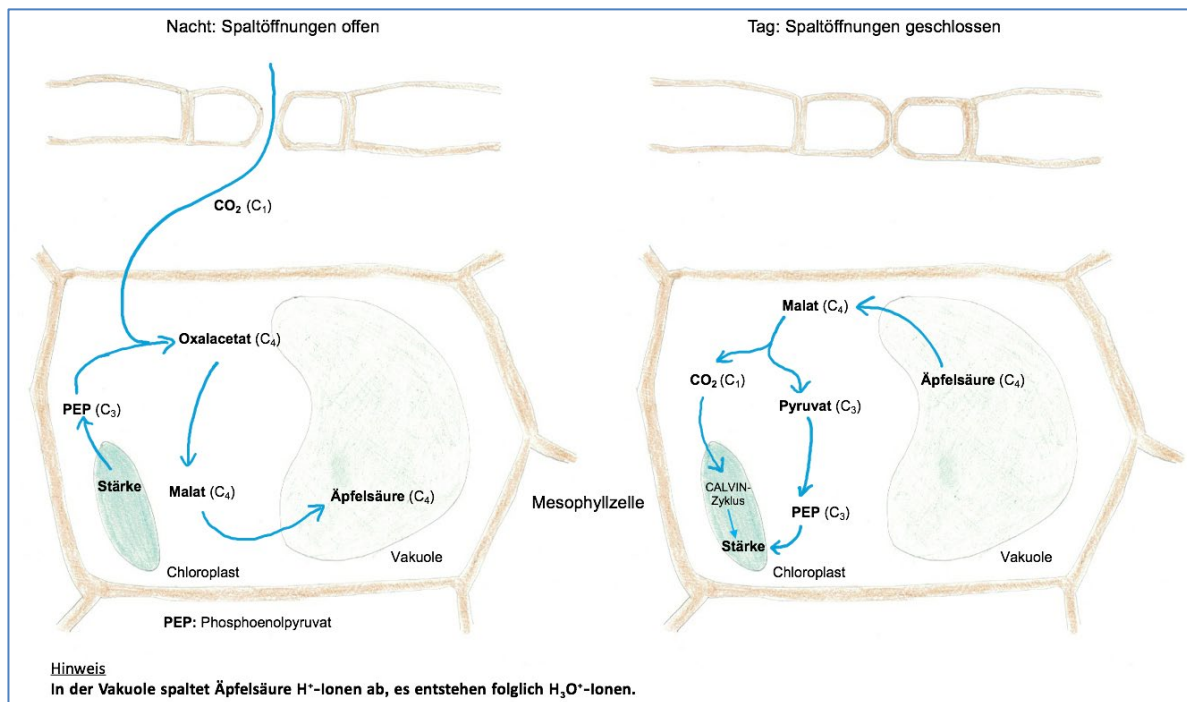


Abb. 2: Fixierung und Nutzung von Kohlenstoffdioxid in CAM-Pflanzen, IQB, in Anlehnung an Raven, Evert & Eichhorn, 2006, S. 156.

Material 4

Geldbaum

Der Geldbaum (s. Abb. 3) wird bei uns als Zierpflanze in Gärten und vor allem als leicht zu haltende Zimmerpflanze verwendet.

Das natürliche Vorkommen erstreckt sich über vorwiegend trockene Regionen im Süden Südafrikas.

Der Geldbaum wächst als dickstämmiger, stark verzweigter, immergrüner Strauch und erreicht Wuchshöhen von bis zu 2,5 Meter. Die grünen, fleischig verdickten Laubblätter sind kurz gestielt und an den Rändern rötlich gefärbt.

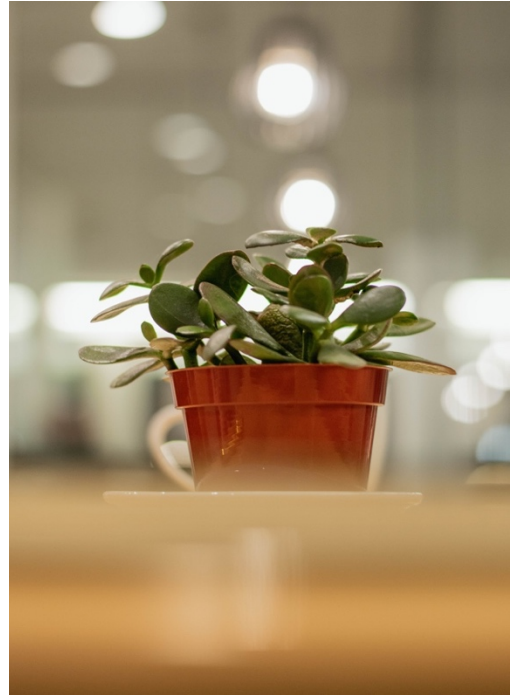


Abb. 3: Geldbaum mit seinen charakteristisch verdickten Blättern, Unsplash, 2019.

Material 5

Untersuchungsmaterialien

Folgende Materialien stehen Ihnen für eine Untersuchung der aufgestellten Hypothese zur Verfügung (über Anforderung an der Materialientheke erhältlich).

Geräte:

2 Bechergläser (25 ml), Schere, Knoblauchpresse, pH-Meter (Mess-Station)

Vorbehandelte Blätter eines Geldbaums:

- ◆ Blätter 1.a (12 h tagsüber bei Raumtemperatur belichtet)
- ◆ Blätter 1.b (12 h nachts bei Raumtemperatur in völliger Dunkelheit)

Entsorgung:

Entleeren Sie die benutzten Bechergläser in das Sammelgefäß an der Materialientheke und stellen Sie die benutzten Materialien jeweils in die entsprechend beschrifteten Kästen.

3 Erwartungshorizont

Der Erwartungshorizont stellt für jede Teilaufgabe eine mögliche Lösung dar. Nicht dargestellte korrekte Lösungen sind als gleichwertig zu akzeptieren.

		BE/AFB		
		I	II	III
1	<i>Beschreiben Sie die in M 1 abgebildeten Befunde.</i> Die Lernenden ... S 1 beschreiben biologische Sachverhalte [...] sachgerecht; K 2 wählen relevante [...] Daten zu biologischen Sachverhalten [...] aus und erschließen Informationen [...] auch aus komplexen Darstellungsformen. Erwartet werden einleitende Angaben zum grafisch dargestellten Sachverhalt (netto Fixierungsrate von Kohlenstoffdioxid sowie der Transpirationsrate von <i>Opuntia ficus</i> im Verlauf eines Tages) und deskriptive Ausführungen zu den Kurvenverläufen: ♦ Kurve A: Tagsüber liegt von etwa 9 bis 16 Uhr eine leicht negative Fixierungsrate von Kohlenstoffdioxid vor. Es wird außerdem dargestellt, dass die CO₂-Fixierung innerhalb von ca. fünf Stunden sprunghaft ansteigt und einen Maximalwert von 27 µmol/m²/s erreicht, sich eine lineare Abnahme im Verlauf der Nacht anschließt, bevor die Fixierungsrate dann in den Morgenstunden zwischen sechs und neun Uhr wieder auf ca. -2 µmol/m²/s fällt. ♦ Kurve B: Es wird dargestellt, dass mittags (12 Uhr) nahezu keine Transpiration erfolgt und ausgeführt, dass bis etwa 15 Uhr eine mäßige Zunahme der Transpirationsrate einsetzt, die dann sprunghaft zunimmt, um ca. 21 Uhr einen Maximalwert von ca. 1200 µmol/m²/s zu erreichen und anschließend linear abzunehmen. Ab 12 Uhr mittags findet dann erneut nahezu keine Wasserabgabe statt.	8		
2	<i>Erklären Sie die in M 2 aufgeführte Geschmackswahrnehmung von sauer zu süß unter Berücksichtigung von M 1 und M 3.</i> Die Lernenden ... S 4 formulieren zu biologischen Phänomenen [...] theoriegeleitet [...] Aussagen; K 2 wählen relevante [...] Daten zu biologischen Sachverhalten [...] aus und erschließen Informationen [...] auch aus komplexen Darstellungsformen. Die Erklärung des tageszeitlich variierenden Geschmacks fokussiert auf die veränderlichen Konzentrationen von Äpfelsäure beziehungsweise Glucose in den Zellen der Pflanze, dazu werden relevante Informationen aus M 1 und M 2 entnommen:			

		◆ Aufgrund der nächtlichen Fixierung von Kohlenstoffdioxid (M 1) und der daraus resultierenden Bildung von Äpfelsäure (M 2) kommt es zu einer geschmacklich merkbaren Ansäuerung. ◆ Da im Verlauf des Tages kein Kohlenstoffdioxid fixiert (M 1), Äpfelsäure zudem abgebaut und zudem vermehrt Glucose (bzw. Stärke) gebildet wird (Bildung durch Fotosynthese bzw. Umbau von Pyruvat, vgl. M 2), schmecken die Blätter süßlich.		6	
3		<i>Vergleichen Sie die Kohlenstoff-Fixierung der CAM-Pflanzen (M 3, Abb. 2) mit der in C₄-Pflanzen hinsichtlich struktureller und funktioneller Aspekte.</i> Die Lernenden ... S 2 strukturieren [...] biologische Phänomene [...]; K 5 strukturieren und interpretieren ausgewählte Informationen und leiten Schlussfolgerungen ab. Beim Vergleichen sollen morphologische (strukturelle) Aspekte auf zellulärer Ebene (Ort der CO₂-Fixierung) sowie physiologische (funktionelle) Aspekte auf Molekülebene (Verwertung von Kohlenstoffdioxid) berücksichtigt werden: ◆ Ähnlichkeiten Die Nutzung von Phosphoenolpyruvat (PEP) zur Bindung des aufgenommenen Kohlenstoffdioxids sowie das Auftreten von Oxalacetat und Malat vor dem Calvin-Zyklus werden als Gemeinsamkeiten im Zellstoffwechsel aufgeführt. ◆ Unterschiede Es wird ausgeführt, dass die Fixierung und Verwertung von Kohlenstoffdioxid bei CAM-Pflanzen zeitlich und bei C₄-Pflanzen räumlich getrennt ablaufen: ◆ CAM-Pflanzen: Nächtliche CO₂-Fixierung und Speicherung von Äpfelsäure in Vakuolen der Mesophyllzellen, tagsüber kann Kohlenstoffdioxid bei geschlossenen Spaltöffnungen in den Calvin-Zyklus eingespeist werden, ◆ C₄-Pflanzen: Fixierung von Kohlenstoffdioxid in Mesophyllzellen, Einspeisung von CO₂ in die Synthesereaktion direkt im Anschluss in Bündelscheidenzellen.		4	
4	a	<i>Stellen Sie eine Hypothese zur stoffwechselphysiologischen Anpasstheit der Blätter des Geldbaums (M 4, M 3) an die Wasserverfügbarkeit im Lebensraum auf.</i> Die Lernenden ... E 3 stellen theoriegeleitet Hypothesen zur Bearbeitung von Fragestellungen auf. Die formulierte Hypothese über die stoffwechselphysiologische Anpasstheit an Wasserverfügbarkeit stellt eine sachlich korrekt begründete Vermutung dar.			

		Mögliche Hypothesen: ♦ Belichtete Blätter eines Geldbaums weisen aufgrund des CAM-Stoffwechsels einen höheren pH-Wert auf als in Dunkelheit gehaltene Blätter. ♦ An Trockenheit angepasste Blätter des Geldbaums betreiben Photosynthese nach der CAM-Variante. Der pH-Wert des Blattsaftes ist daher morgens geringer als am Abend. Denkbar sind auch Vermutungen, die den C₄-Stoffwechselweg der Synthesereaktion begründet bezeichnen. Derartige Konstrukte wären nach dem Experiment daten- und materialbasiert zu falsifizieren.		2	2
4	b	<i>Untersuchen Sie die Hypothese mithilfe der vorliegenden Materialien (M 5) und fertigen Sie ein Protokoll an.</i> Die Lernenden ... S 5 [...] erschließen die Eigenschaften lebender Systeme [...] unter [...] quantitativen Aspekten; E 4 planen und führen hypothesengeleitete [...] Experimente [...] durch und protokollieren sie; E 7 nehmen [...] quantitative Daten [...] auf und werten sie aus; E 8 wenden Labortechniken [...] sachgerecht [...] an; E 9 finden in erhobenen [...] Daten [...] Trends, erklären diese theoriebezogen und ziehen Schlussfolgerungen; E 11 widerlegen oder stützen die Hypothesen (Hypothesenrückbezug). Untersuchung und Protokoll: Es wird eine fachpraktische Untersuchung mithilfe der bereitgestellten Materialien unter Anfertigung eines Protokolls durchgeführt. Dazu gehören: ♦ Extraktion eines ausreichenden Volumens des Blattsaftes beider Proben unter Vermeidung von Vermischungen (Ausspülen der Presse nach Benutzung); ♦ ordnungsgemäße Nutzung des pH-Meters und korrekte Bestimmung der pH-Werte; ♦ sachgerechte Entsorgung; ♦ nachvollziehbare Dokumentation des Vorgehens und der erhobenen Daten auf die im Unterricht eingeführte Form eines Protokolls. Eine besonders gelungene Leistung wird unter anderem auch dadurch erkennbar, dass wiederholte Messungen und die Ermittlung von Mittelwerten vorgenommen werden. Folgende Mittelwerte bzw. Messwerte sind zu erwarten: ♦ Belichtete Blätter (Simulation von „Tag“): pH = 5,5 ♦ Blätter in Dunkelheit (Simulation von „Nacht“): pH = 4,6 Deutung des Befundes: Aufgrund der in Abhängigkeit der Lichtintensität variierenden pH-Werte wird der Geldbaum als CAM-Pflanze identifiziert. Der geringere pH-Wert (ca. 4,6) wird auf die bei Dunkelheit geöffneten Stomata zurückgeführt,	2		

	welche eine erhöhte Fixierung von Kohlenstoffdioxid beziehungsweise Speicherung von Äpfelsäure bewirkt (Folge: pH-Wertabfall über Nacht). Der im Vergleich zur belichteten Pflanze geringere pH-Wert kann allerdings nur mittelbar mit einem Absinken des pH-Werts in Verbindung gebracht werden. Der höhere pH-Wert wird auf die für CAM-Pflanzen typische Physiologie am Tag zurückgeführt: Bei Belichtung sind Stomata geschlossen, Äpfelsäure wird in Malat überführt. Daraus resultiert ein Anstieg des pH-Wertes, auf den erneut nur indirekt durch Vergleich mit der ersten Messung geschlossen werden kann. Außerdem führt der Prüfling die für CAM-Pflanzen typische Morphologie der Blätter als weiteren Beleg an. Rückbezug zur Hypothese: Die experimentellen Befunde legen nahe, dass die Anpasstheit des Geldbaums an trockene Gebiete neben der Blattsukkulenz auch auf dem CAM-Stoffwechselweg der Synthesereaktion beruht. Eine entsprechend aufgestellte Hypothese wird bestätigt. Anders lautende Hypothesen werden hingegen falsifiziert.		4	4
			2	
	Summe	10	24	6
	Anteile der Bewertungseinheiten in Prozent	25	60	15

4 Standardbezug

Teilaufgabe	Kompetenzbereich			
	S	E	K	B
1	1		2	
2	4		2	
3	2		5	
4 a		3		
b	5	4, 7, 8, 9, 11		

5 Bewertungshinweise

Die Bewertung der erbrachten Prüfungsleistungen hat sich für jede Teilaufgabe nach der am rechten Rand der Aufgabenstellung angegebenen Anzahl maximal erreichbarer Bewertungseinheiten (BE) zu richten.

Für die Bewertung der Gesamtleistung eines Prüflings ist passend zur Konzeption der Aufgaben der Aufgabensammlung ein Bewertungsraster¹ vorgesehen, das angibt, wie die in den

¹ Das Bewertungsraster ist Teil des Dokuments „Beschreibung der Struktur“, das auf den Internetseiten des IQB zum Download bereitsteht.

drei Prüfungsteilen insgesamt erreichten Bewertungseinheiten in Notenpunkte umgesetzt werden.

6 Hinweise zur Vorbereitung und Durchführung des Experimentes

Hinweise zur Durchführung der fachpraktischen Teilaufgabe (4b)

Ein Geldbaum² (*Crassula ovata*) wird von ca. 8:00 Uhr (Sonnenaufgang) bis ca. 18:00 Uhr (Sonnenuntergang) auf eine lichtzugewandte Fensterbank unter zusätzlicher Belichtung (z. B. Schreibtischlampe, 40 W) gestellt. Danach werden die zu untersuchenden Blätter abgetrennt und in ein Gefrierfach gelegt, um Stoffwechselprozesse zu stoppen. Die Pflanze wird dann von ca. 18:00 Uhr bis etwa 08:00 Uhr des Folgetages bei Dunkelheit gehalten (abgedunkeltes Zimmer oder unter einem ausreichend großen Karton, dabei eine ausreichende CO₂-Zufuhr sicherstellen). Direkt im Anschluss werden Blätter entfernt und ebenfalls im Gefrierfach gelagert (Anm.: Die Blätter werden jeweils in Aluminiumfolie eingewickelt eingefroren). Zur Prüfung werden die Blätter aufgetaut. Die Messung der pH-Werte kann alternativ mit Merck pH-Indikatorstäbchen (4,0-7,0) ermittelt werden.

Eine aufsichtführende Fachlehrkraft dokumentiert das Vorgehen der Schülerin/des Schülers. Das dabei angefertigte Dokumentationsprotokoll wird zur Bewertung der Leistung herangezogen (vgl. Muster auf der Folgeseite).

Sollte die Messung der pH-Werte aus von der Schülerin oder vom Schüler nicht selbst verantworteten Gründen keine oder nachweisbar beeinträchtigte Daten liefern, ist seitens der aufsichtführenden Lehrkraft für Ersatzmaterialien oder -geräte zu sorgen. Alternativ stellt die aufsichtführende Lehrkraft Messwerte bereit (siehe 8).

Die Schülerin bzw. der Schüler kann sich überdies auf eigenes Verlangen die Messwerte zur weiteren Bearbeitung der Aufgabe vorlegen lassen. In diesem Fall erfolgt der Abzug von 2 BE.

² Geldbäume sind ganzjährig in Bau- und Pflanzenmärkten erhältlich.

7 Beobachtungsbogen

Protokoll zur Erfassung der Vorgehensweise des Prüflings

Prüfling			
Arbeitsplatz			
Arbeitszeit			
Durchgeführte Tätigkeiten	Ja	Nein	Anmerkungen der Aufsicht
Extraktion des Blattsaftes ♦ Zwei Proben ohne Vermischung verschiedener Blattextrakte hergestellt (Saftpresse zwisehendurch ausgespült)			
Nutzung des pH-Meters ♦ Messelektrode korrekt in Testlösung gehalten ♦ Abspülen der Messelektrode vor und nach der Messung mit <i>Aqua dest.</i> ♦ Ermittelte Werte korrekt übernommen und sachgerecht zugeordnet			
Dokumentation des Experiments ♦ Prüfling dokumentiert Arbeitsschritte und Messwerte sachgerecht			
Entsorgung ♦ Prüfling entsorgt Materialien und Chemikalien gemäß Vorgaben ♦ Wiederherstellung des Arbeitsplatzes			
<u>Sonstige Bemerkungen:</u>			

8 Ersatzmesswerte³

Folgende Messwerte sind zu erwarten:

Belichtete Blätter

(Simulation von „Tag“):

- ♦ Blatt 1: pH = 5,4
- ♦ Blatt 2: pH = 5,0
- ♦ Blatt 3: pH = 5,6

Blätter in Dunkelheit

(Simulation von „Nacht“):

- ♦ Blatt 1: pH = 4,5
- ♦ Blatt 2: pH = 4,2
- ♦ Blatt 3: pH = 4,9

³ Bei Nutzung der Ersatzmesswerte werden die 2 Bewertungseinheiten für die Untersuchung nicht erteilt.